

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁵ : G01R 33/06	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/15223 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 7. Juli 1994 (07.07.94)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE93/01204 (22) Internationales Anmeldedatum: 16. December 1993 (16.12.93) (30) Prioritätsdaten: P 42 43 358.4 21. December 1992 (21.12.92) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VAN DEN BERG, Hugo [NL/DE]; Dr.-Daßler-Strasse 4, D-91074 Herzogenaurach (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: **MAGNETO-RESISTIVE SENSOR WITH A SYNTHETIC ANTI-FERROMAGNET, AND A METHOD OF PRODUCING THE SENSOR**

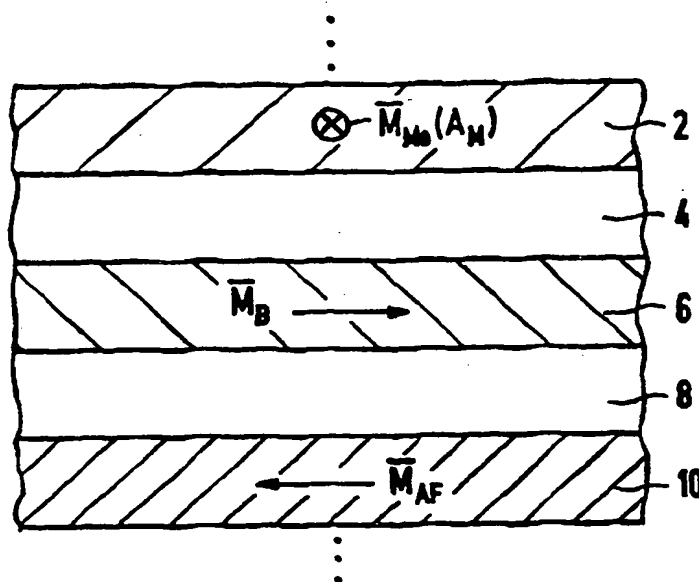
(54) Bezeichnung: **MAGNETOWIDERSTANDS-SENSOR MIT KÜNSTLICHEM ANTIFERROMAGNETEN UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG**

(57) Abstract

The magneto-resistive sensor proposed includes at least one measurement layer (2) with a magnetization (\vec{M}_M) in the plane of the layer and a bias layer (6) with a permanent magnetization (\vec{M}_B) in the plane of the layer, these two layers being mutually decoupled from each other by an intermediate layer (4). In order to decouple the measurement layer (2) magnetostatically from the bias layer (6), the side of the bias layer (6) remote from the measurement layer (2) is anti-ferromagnetically coupled via a coupling layer (8) to a magnetic layer (10) to form a "synthetic anti-ferromagnet". In a preferred embodiment, the magnetizations (\vec{M}_M and \vec{M}_B) of the measurement layer (2) and the bias layer (6) are at least approximately orthogonal to each other. This gives a sensor with a linear characteristic and maximum sensitivity.

(57) Zusammenfassung

Ein Magnetowiderstands-Sensor gemäß der Erfindung enthält wenigstens eine Meßschicht (2) mit einer Magnetisierung (\vec{M}_M) in der Schichtebene und eine Biasschicht (6) mit einer festen Magnetisierung (\vec{M}_B) in der Schichtebene, die durch eine Zwischenschicht (4) voneinander austauschentkoppelt sind. Zur magnetostatischen Entkoppelung der Meßschicht (2) und der Biasschicht (6) in einem "künstlichen Antiferromagneten" antiferromagnetisch über eine Koppelungsschicht (8) an eine Magnetschicht (10) gekoppelt. In einer vorteilhaften Ausführungsform sind die Magnetisierungen (\vec{M}_M und \vec{M}_B) der Meßschicht (2) und der Biasschicht (6) wenigstens annähernd orthogonal zueinander. So erhält man einen Sensor mit linearer Kennlinie und maximaler Empfindlichkeit.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

1 Magnetowiderstands-Sensor mit künstlichem Antiferro-
magneten und Verfahren zu seiner Herstellung

5 Die Erfindung betrifft einen Magnetowiderstands-Sensor und
ein Verfahren zu seiner Herstellung.

10 In ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Nickel (Ni),
Eisen (Fe) oder Kobalt (Co) und in Legierungen mit diesen
Metallen ist der elektrische Widerstand abhängig von der
Größe und Richtung eines das Material durchdringenden
Magnetfeldes. Diesen Effekt nennt man anisotropen Magneto-
widerstand (AMR) oder anisotropen magnetoresistiven
Effekt. Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen
Streuquerschnitten von Elektronen mit unterschiedlichem
15 Spin, die entsprechend als Majoritäts- und Minoritätselek-
tronen des D-Bandes bezeichnet werden. Für magnetoresi-
stive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus
einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magne-
tisierung in der Schichtebene verwendet. Die Widerstands-
20 änderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Strom-
richtung kann einige Prozent des normalen isotropen Wider-
standes betragen.

25 Es sind Mehrschichtsysteme bekannt mit mehreren, zu einem
Stapel angeordneten ferromagnetischen Schichten, die durch
metallische Zwischenschichten voneinander getrennt sind,
und deren Magnetisierungen jeweils in der Schichtebene
liegen. Die jeweiligen Schichtdicken sind dabei wesentlich
kleiner als die mittlere freie Weglänge der Leitungselek-
tronen gewählt. In solchen Schichtsystemen tritt nun zu-
30 sätzlich zu dem anisotropen magnetoresistiven Effekt in
den einzelnen Schichten der sogenannte Giant-magnetoresi-
stive Effekt oder Giant-Magnetowiderstand (Giant-MR) auf,

- 1 der auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritäts-Leitungselektronen im Volumen der Schichten, insbesondere in Legierungen, sowie an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und
5 den Zwischenschichten beruht. Dieser Giant-MR ist ein isotroper Effekt und kann erheblich größer sein als der anisotrope MR mit Werten von bis zu 70 % des normalen isotropen Widerstandes.
- 10 Es sind zwei Grundtypen von solchen Giant-MR-Mehrschichtsystemen bekannt. Bei dem ersten Typ sind die ferromagnetischen Schichten über die Zwischenschichten antiferromagnetisch aneinander gekoppelt, so daß sich die in den Schichtebenen liegenden Magnetisierungen von zwei benach-
15 barten ferromagnetischen Schichten ohne äußeres Magnetfeld antiparallel zueinander ausrichten. Ein Beispiel für diesen Typ sind Eisen-Chrom-Übergitter (Fe-Cr-Superlattices) mit ferromagnetischen Schichten aus Fe und antiferromagnetischen Zwischenschichten aus Cr. Durch ein äußeres Ma-
20 gnetfeld werden nun die Magnetisierungen von benachbarten ferromagnetischen Schichten gegen die antiferromagnetischen Kopplungskräfte gedreht und parallel ausgerichtet. Diese Umorientierung der Magnetisierungen durch das Ma-
25 gnetfeld hat eine stetige Abnahme des Giant-MR zur Folge, die ein Maß für die Größe des Magnetfeldes ist. Bei einer Sättigungsfeldstärke H_s tritt keine Änderung des Giant-MR mehr auf, weil sämtliche Magnetisierungen dann parallel zueinander ausgerichtet sind. Der Giant-MR hängt dabei
30 lediglich von dem Betrag der Feldstärke ab ("Physical Review Letters", Vol. 61, No. 21, 21. Nov. 1988, Seiten 2472 - 2475).

1 Für diesen Typ mit antiferromagnetisch gekoppelten, ferro-
magnetischen Schichten wurden auch theoretische Berechnun-
gen durchgeführt, die eine Abhängigkeit der Strom- und der
5 Transmissionskoeffizienten für an den Grenzflächen ge-
streute Elektronen mit Spin-up und solche mit Spin-down
von dem Winkel zwischen den Magnetisierungen in benach-
barten ferromagnetischen Schichten aufzeigen. Aus diesen
Berechnungen ergibt sich, daß der Giant-MR bei von 0° auf
10 180° wachsendem Winkel zwischen den beiden Magnetisierun-
gen stetig zunimmt und am größten bei einem Winkel von
 180° ist ("Physical Review Letters", Vol. 63, No. 6,
August 1989, Seiten 664 bis 667).

Bei dem zweiten Typ eines Giant-MR-Mehrschichtsystems sind
15 ferromagnetische Schichten mit zueinander im Mittel paral-
lelen Magnetisierungen in den Schichtebenen durch dia-
oder paramagnetische Zwischenschichten aus Metall vonein-
ander getrennt. Die Zwischenschichten sind so dick ge-
wählt, daß die magnetische Austauschkopplung zwischen den
20 Magnetisierungen der ferromagnetischen Schichten möglichst
gering ist. Jeweils benachbarte ferromagnetische Schichten
weisen unterschiedliche Koerzitivfeldstärken auf. Dadurch
werden die in der Sättigung zunächst parallelen Mittel-
werte der Magnetisierungen M_1 und M_2 von magnetisch wei-
25 cheren Meßschichten und benachbarten, magnetisch härteren
Blattschichten durch ein Magnetfeld H unterschiedlich stark
gedreht, und es stellt sich ein vom Magnetfeld H abhängi-
ger Winkel Φ zwischen den Mittelwerten der Magnetisie-
rungen M_1 und M_2 ein. Die Abhängigkeit der einzelnen
30 Magnetisierungen M_1 und M_2 vom Magnetfeld H ergibt sich
dabei aus den entsprechenden Hysteresekurven des magne-
tisch weicheren bzw. des magnetisch härteren Materials.
Zwischen den Koerzitivfeldstärken H_{c1} der weichmagneti-

- 1 schen und H_{c2} der hartmagnetischen Schichten und zwischen
- H_{c2} und - H_{c1} liegt jeweils ein Bereich, in dem die Magne-
tisierung M_1 schon in Sättigung ist und die Magnetisierung
5 M_2 noch ihren der Sättigung entsprechenden Wert hat und
antiparallel zur Magnetisierung M_1 gerichtet ist, d.h. $\Phi = 180^\circ$. In diesem Bereich ist das MR-Signal maximal und
konstant. Verschiedene Koerzitivfeldstärken $|H_{c1}| \leq |H_{c2}|$
kann man durch die Wahl unterschiedlicher Materialien oder
10 durch unterschiedliche Herstellungsprozesse bzw. die Wahl
unterschiedlicher Dicken des gleichen Materials einstel-
len. Bekannte Schichtstrukturen mit unterschiedlichen
Materialien sind beispielsweise NiFe-Cu-Co-Schichtstruktu-
ren und Fe-Cu-Co-Strukturen. Ein auf unterschiedlicher
15 Herstellung oder unterschiedlichen Dicken beruhendes, be-
kanntes Schichtsystem ist ein Co-Au-Co-System ("Journal
of Applied Physics", Vol. 70, No. 10, 15. Nov. 1991, Sei-
ten 5864 -5866). Das MR-Signal dieser bekannten Schicht-
systeme hängt nun jedoch von ihrer Vorgeschichte ab, d.h.
auf welchem Weg und zwischen welchen Werten für das
20 Magnetfeld sowie in welcher Richtung die Hysteresekurven
durchlaufen werden. Mit einem solchen Schichtsystem läßt
sich daher kein MR-Sensor mit einer eindeutigen Kennlinie
realisieren. Außerdem schließt sich bei diesen bekannten
Schichtsystemen ein Teil des Magnetflusses der härteren
25 Biasschichten über den weicheren Meßschichten. Dieses
magnetische Störfeld verringert die Meßempfindlichkeit des
Sensors und hat eine unerwünschte Verschiebung der Sensor-
kennlinie zur Folge.
- 30 Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen
Magnetowiderstands-Sensor mit einem Schichtsystem aus
wenigstens einer Meßschicht und wenigstens einer durch
eine Zwischenschicht von der Meßschicht austauschent-

- 1 koppelten Biasschicht anzugeben, der eine eindeutige
Kennlinie aufweist und bei dem Störfelder der Biasschicht
in der Meßschicht weitgehend unterdrückt werden. Insbeson-
dere soll ein linearer Magnetowiderstands-Sensor angegeben
5 werden. Außerdem ist ein Verfahren zur Herstellung eines
solchen Magnetowiderstands-Sensors anzugeben.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit den
Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 20. Die Ma-
10 gnetisierung \bar{M}_M der Meßschicht hängt wenigstens in einer
Richtung reversibel und damit eindeutig vom zu messenden
Magnetfeld ab und die Biasschicht ist mit einer im Meßbe-
reich wenigstens annähernd konstanten Magnetisierung \bar{M}_B
versehen. Dadurch erhält man ein Widerstandssignal, das
15 eindeutig von dem Magnetfeld abhängt. Um zu verhindern,
daß sich ein Teil des Magnetflusses der Biasschicht, ins-
besondere bei großem \bar{M}_B , über der Meßschicht schließt, ist
nun die Biasschicht an ihrer von der Meßschicht abge-
wandten Seite antiferromagnetisch über eine Kopplungs-
20 schicht an eine Magnetschicht angekoppelt. Die Bias-
schicht, die Kopplungsschicht und die Magnetschicht bilden
einen "künstlichen Antiferromagneten", der nach außen ma-
gnetisch weitgehend neutral ist, d.h. dessen Magnetfluß
sich praktisch ganz zwischen der Biasschicht und der
25 Magnetschicht schließt. Ein besonderer Vorteil dieses
"künstlichen Antiferromagneten" ist die Stabilisierung der
Magnetisierung \bar{M}_B der Biasschicht auch bei starken äußeren
Magnetfeldern H . Zur Messung des Widerstands des Schicht-
systems sind wenigstens zwei Meßkontakte vorgesehen.

30

Diese Meßkontakte können in einem Abstand voneinander
vorzugsweise auf der obersten Schicht angeordnet sein, so
daß der Meßstrom im Mittel parallel zu den Schichtebenen

1 fließt (cip = current-in-planes). In einer anderen Ausführungsform sind die Meßkontakte auf der obersten und der untersten Schicht angeordnet, so daß der Meßstrom senkrecht zu den Schichtebenen fließt (cpp = current-perpendicular-to-planes). Ein Schichtsystem mit derartig angeordneten cpp-Meßkontakten ist aus "Physical Review B", Vol. 46, No. 1 (1992), Seiten 548 - 551 bekannt.

10 In einem vorteilhaften, symmetrischen Aufbau ist auf der anderen Seite der Magnetschicht eine weitere Biasschicht angeordnet, die über eine Kopplungsschicht mit der Magnetschicht antiferromagnetisch gekoppelt ist.

15 Vorzugsweise ist die Meßschicht mit einer magnetischen Vorzugsachse A_M versehen. Die Meßschicht kann allerdings auch aus einem superparamagnetischen Material gewählt sein. Dann ist ihre Magnetisierung M_M in allen Richtungen reversibel vom Magnetfeld abhängig.

20 Im Grundzustand, d.h. wenn kein Magnetfeld anliegt, stellt sich eine Grundzustandsmagnetisierung M_{MO} der Meßschicht ein. Diese Grundzustandsmagnetisierung M_{MO} der Meßschicht ist nun in einer Ausführungsform parallel zur Magnetisierung oder den Magnetisierungen M_B der Biasschicht bzw. der Biasschichten parallel gerichtet. Dazu wird die Meßschicht entlang einer parallel zur Magnetisierung M_B gerichteten Vorzugsachse magnetisiert.

30 In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform sind die Grundzustandsmagnetisierung M_{MO} der Meßschicht und die feste Magnetisierung M_B der Biasschicht wenigstens annähernd senkrecht zueinander gerichtet. Dadurch wird der Arbeitspunkt des Sensors bei nicht vorhandenem Magnetfeld

1 H = 0 in einem Bereich eingestellt, in dem die Kennlinie
wenigstens annähernd linear ist und eine maximale Steigung
aufweist.

5 Um die Magnetisierungen \bar{M}_{MO} und \bar{M}_B wenigstens annähernd
senkrecht zueinander auszurichten, wird die Meßschicht
vorzugsweise mit einer magnetischen Vorzugsachse A_M ver-
sehen, die wenigstens annähernd senkrecht zur festen Mag-
netisierung \bar{M}_B der Biasschicht gerichtet ist, und entlang
10 dieser Vorzugsachse A_M magnetisiert.

In einer anderen Ausführungsform wird die sogenannte 90°-
Kopplung ausgenutzt. Die Dicke der Zwischenschicht wird
auf einen Wert eingestellt, bei dem die magnetische Aus-
15 tauschkopplung zwischen Meßschicht und Biasschicht ihr
Vorzeichen wechselt, d.h. von einer ferromagnetischen in
eine antiferromagnetische Kopplung übergeht bzw. umge-
kehrt. Durch die statistischen Schwankungen der Dicke
stellt sich nun die Grundzustandsmagnetisierung \bar{M}_{MO} der
20 Meßschicht im Mittel automatisch unter einem Winkel von
90° zur Magnetisierung \bar{M}_B der Biasschicht ein.

Bei verschiedenen Materialien und verschiedener Geometrie
der Schichten kann es zur Kompensation der entstehenden
25 entmagnetisierenden Felder erforderlich sein, einen etwas
von 90° abweichenden Winkel zwischen \bar{M}_{MO} und \bar{M}_B einzustel-
len, um den für Linearität und Empfindlichkeit des Sensors
optimalen Arbeitspunkt zu erreichen.

30 Stärkere Abweichungen von der wenigstens annähernd senk-
rechten Ausrichtung der Magnetisierungen \bar{M}_{MO} und \bar{M}_B zuein-
ander verschlechtern die Empfindlichkeit und die Lineari-
tät des Sensors.

1 Eine Ursache für solche störende Abweichungen des Winkels
zwischen den beiden Magnetisierungen \vec{M}_{MO} und \vec{M}_B von den
gewünschten etwa 90° kann sein, wenn sich immer noch ein
Rest des magnetischen Flusses der Biasschicht über der
5 Meßschicht schließt. Die Grundzustandsmagnetisierung \vec{M}_{MO}
in der Meßschicht wird dann im ungünstigsten Fall dieser
magnetostatischen Kopplung von Meßschicht und Biasschicht
schon antiparallel zur Magnetisierung \vec{M}_B in der Bias-
schicht ausgerichtet, ohne daß ein Magnetfeld anliegt.

10 In einer besonderen Ausführungsform ist die Meßschicht
zur zusätzlichen magnetostatischen Entkopplung von der
Biasschicht wenigstens in Richtung der Magnetisierung \vec{M}_B
der Biasschicht und vorzugsweise ringsum außen kürzer
15 ausgebildet als wenigstens die Biasschicht. Vorzugsweise
werden die Übergänge zwischen den Randbereichen ohne Meß-
schicht und dem mittleren Meßbereich mit der Meßschicht
fließend gestaltet. Beispielsweise kann die Dicke der
Meßschicht in diesen Übergangsbereichen zur Mitte hin
20 kontinuierlich zunehmen.

In einer weiteren Ausführungsform ist zur weiteren magne-
tostatischen Entkopplung die Magnetisierung $|\vec{M}_B|$ der Bias-
schicht niedriger gewählt als die Grundzustandsmagnetisie-
25 rung $|\vec{M}_{MO}|$ der Meßschicht.

Auch aufgrund von entmagnetisierenden Feldern vor allem
in den Randbereichen der Schichten und insbesondere in der
Biasschicht können Abweichungen von den vorgegebenen
30 Richtungen für die Magnetisierungen \vec{M}_{MO} und \vec{M}_B auftreten.
Deshalb sind in einer bevorzugten Ausführungsform die
Meßkontakte zur Widerstandsmessung in einen inneren Meßbe-
reich des Schichtsystems verlegt, um den Einfluß dieser
Randbereiche auf das Meßsignal zu vermeiden.

1 In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform sind die
Schichten länglich ausgebildet, wobei ihre Längsrichtung
senkrecht zur Grundzustandsmagnetisierung \vec{M}_{M0} der Meß-
schicht verläuft. Dadurch ist die relative Lage der Grund-
5 zustandsmagnetisierung \vec{M}_{M0} und der Magnetisierung \vec{M}_B zu-
einander besonders stabil. Zudem erreicht man eine hohe
Empfindlichkeit des Sensors und verringert die Verschie-
bung seiner Kennlinie, weil die von der Meßschicht bzw.
der Biasschicht erzeugten entmagnetisierenden Felder stark
10 abgeschwächt werden und ihr dem zu messenden Magnetfeld
entgegenwirkender Einfluß verringert wird.

Zur Magnetflußumlenkung und für eine geringere Domänen-
bildung kann in einer weiteren Ausführungsform wenigstens
15 eine Meßschicht durch zwei Meßschichten mit antiparallel
zueinander gerichteten Magnetisierungen ersetzt werden, die
durch eine Zwischenschicht getrennt sind. Vorzugsweise
sind beide Magnetisierungen gegen die Normalenrichtung zur
Magnetisierung \vec{M}_B der Biasschicht so geneigt, daß sie
20 einen Winkel kleiner als 180° einschließen. Dadurch wird
die Bildung von Domänen in den Meßschichten verringert.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform werden
die Materialien für die Schichten des Sensors derart
25 gewählt, daß der spezifische Widerstand für denjenigen
Elektronentyp, der in der Meßschicht bei parallel zu-
einander gerichteten Magnetisierungen \vec{M}_M und \vec{M}_B in Meß-
schicht und Biasschicht nur wenig gestreut wird, auch in
den anderen Schichten, insbesondere der Magnetschicht des
30 künstlichen Antiferromagneten, und an ihren Grenzflächen
möglichst gering ist. Bei einer solchen Wahl erreicht man
einen sehr guten Kontrast zwischen dem maximalen und dem
minimalen Magnetowiderstandssignal. Als entscheidende

1 Parameter werden dabei die Verhältnisse von spezifischem
Widerstand für die Minoritätsträger und spezifischen
Widerstand für die Majoritätsträger in den einzelnen
5 Schichten und an ihren Grenzflächen eingestellt. Diese
Parameter werden durch die jeweiligen Wirtsmaterialien und
Fremdatome als Streuzentren bestimmt. Die parallele Aus-
richtung der Magnetisierungen \vec{M}_M und \vec{M}_B kann dabei schon
im Grundzustand oder erst bei einem parallel zu \vec{M}_B an-
liegenden Magnetfeld vorliegen.

10

Die bisher beschriebenen Ausführungsformen von Schicht-
subsystemen können miteinander kombiniert werden und in
einem Stapel aus einer Vielzahl solcher Subsysteme ange-
ordnet werden. Die Zahl dieser Schichtsubsysteme wird im
15 allgemeinen zwischen 1 und 100 gewählt. Das Basissubsystem
ist das System Meßschicht-Zwischenschicht- "künstlicher
Antiferromagnet", wobei der "künstliche Antiferromagnet"
aus Biasschicht, Kopplungsschicht und Magnetschicht oder
im symmetrischen Aufbau aus zwei Biasschichten mit einer
20 dazwischen angeordneten und jeweils über eine Kopplungs-
schicht antiferromagnetisch an die Biasschichten gekop-
pelten Magnetschicht bestehen kann. Die Magnetisierungen
 \vec{M}_B der Biasschichten sind in allen Ausführungsformen
gleich gerichtet. Die Grundzustandsmagnetisierungen \vec{M}_{MO}
25 der Meßschichten sind entweder kollinear oder senkrecht zu
den Magnetisierungen \vec{M}_B der Biasschichten gerichtet. Die
Subsysteme sind jeweils durch eine weitere Zwischenschicht
voneinander getrennt.

30

Ein Magnetowiderstands-Sensor gemäß der Erfindung, ins-
besondere der "künstliche Antiferromagnet", kann auf
mehreren Wegen hergestellt werden.

1 Eine Möglichkeit besteht darin, für die Biasschicht und
die Magnetschicht des "künstlichen Antiferromagneten"
Materialien mit unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken zu
wählen. Die beiden Schichten werden in einem uniformen
5 Biasmagnetfeld, das größer ist als beide Koerzitivfeld-
stärken, gesättigt. Bei abnehmendem Magnetfeld richtet
sich nun die Magnetisierung des magnetisch weicheren Mate-
rials wegen der antiferromagnetischen Austauschkoppelung
antiparallel zur Magnetisierung des magnetisch härteren
10 Materials aus.

Eine zweite Möglichkeit ist das Einprägen einer feldindu-
zierten Vorzugsachse in die Biasschicht durch ein Bias-
magnetfeld während der Ablagerung der Schichten in einem
15 Vakuumsystem und ein anschließendes Magnetisieren der
Biasschicht entlang dieser Vorzugsachse. Die Magnetisie-
rung der antiferromagnetisch gekoppelten Magnetschicht
stellt sich dann von selbst antiparallel zur Magnetisie-
rung M_B der Biasschicht ein. Es kann allerdings auch um-
20 gekehrt die Magnetschicht mit einer Vorzugsachse versehen
werden und entlang dieser Vorzugsachse magnetisiert wer-
den.

Eine dritte Möglichkeit der Herstellung des künstlichen
25 Antiferromagneten bietet die Wahl zweier magnetischer
Materialien mit unterschiedlicher Curietemperatur und
wenigstens annähernd gleicher Magnetisierung bei Raum-
temperatur bzw. allgemein der Einsatztemperatur des
Sensors für die Biasschicht und die Magnetschicht. Die
30 Biasschicht und die Magnetschicht werden zusammen mit der
dazwischen angeordneten Kopplungsschicht auf eine Einprä-
getemperatur gebracht, bei der sich die Magnetisierbar-
keiten der beiden Materialien unterscheiden, und in einem

1 temperaturabhängigen Biasmagnetfeld gesättigt, das wenig-
stens bei der Einprägetemperatur einen von Null verschie-
denen Wert zum Sättigen hat und beispielsweise kontinuier-
lich oder sprunghaft von der Temperatur abhängen kann.
5 Liegt die Einprägetemperatur oberhalb der Einsatztempera-
tur, so wird die Schicht mit der höheren Curietemperatur
stärker magnetisiert. Bei einer tiefer als die Einsatz-
temperatur liegenden Einprägetemperatur wird im allgemei-
nen die Schicht mit der niedrigeren Curietemperatur stär-
10 ker magnetisiert. Bei einer darauffolgenden Temperatur-
änderung auf die Einsatztemperatur wird sich die Magneti-
sierung der stärker magnetisierten Schicht nicht mehr
ändern und die Magnetisierung der anderen Schicht wird
durch die antiferromagnetische Kopplung antiparallel aus-
15 gerichtet. Im allgemeinen wird die Einprägetemperatur
höher gewählt als die Einsatztemperatur.

Die drei genannten Möglichkeiten der Wahl der Material-
eigenschaften für den "künstlichen Antiferromagneten"
20 können natürlich auch beliebig kombiniert werden.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeich-
nung Bezug genommen, in deren

25 FIG. 1 und 2 jeweils eine Ausführungsform eines Magneto-
widerstands-Sensors gemäß der Erfindung im Quer-
schnitt,

FIG. 3 eine Ausführungsform mit nach innen verlegten Meß-
kontakten in der Draufsicht,

30 FIG. 4 eine Ausführungsform mit Randbereichen ohne Meß-
schicht im Querschnitt und

FIG. 5 eine Ausführungsform mit zwei benachbarten Meß-
schichten im Querschnitt
schematisch dargestellt sind.

1 FIG. 1 zeigt eine Ausführungsform eines Magnetowiderstand-
Sensors mit einem Schichtsystem, das aus einer magneti-
schen Meßschicht 2 und einer magnetischen Biasschicht 6,
5 einer dazwischen angeordneten, nicht magnetischen Zwi-
schenschicht 4, sowie einer an die von der Meßschicht 2
abgewandten Seite der Biasschicht 6 über eine Kopplungs-
schicht 8 antiferromagnetisch angekoppelte Magnetschicht
10 gebildet ist. Alle Schichten bestehen aus einem elek-
trisch leitendem Material, und ihre Dicken sind wesentlich
10 kleiner als die mittlere freie Weglänge der Leitungselek-
tronen. Die Meßschicht 2 weist eine Grundzustandsmagne-
tisierung \vec{M}_{MO} entlang einer Vorzugsachse auf, die mit A_M
bezeichnet ist und in der Schichtebene der Meßschicht 2
verläuft. Die Biasschicht 6 ist mit einer festen Magneti-
15 sierung \vec{M}_B in ihrer Schichtebene versehen, die wenigstens
annähernd senkrecht zur Vorzugsachse A_M der Meßschicht 2
gerichtet ist und in der Zeichenebene dargestellt ist. Die
Magnetisierung \vec{M}_B kann allerdings auch umgekehrt gerichtet
sein. Durch die wenigstens annähernd orthogonale Ausrich-
20 tung der Vorzugsachse A_M und damit der Grundzustands-
magnetisierung \vec{M}_{MO} relativ zur Magnetisierung \vec{M}_B liegt der
Arbeitspunkt des Sensors in dieser bevorzugten Ausführ-
ungsform in einem wenigstens annähernd linearen Bereich
der Kennlinie mit zugleich der größten Steigung. Der
25 Winkel zwischen den beiden Magnetisierungen \vec{M}_{MO} und \vec{M}_B
kann zur Kompensation von entmagnetisierenden Feldern
etwas von 90° abweichen.

30 Wegen der antiferromagnetischen Kopplung ist die Mag-
netisierung \vec{M}_{AF} der Magnetschicht 10 antiparallel zur Mag-
netisierung \vec{M}_B der Biasschicht 6 gerichtet. Die Bias-
schicht 6, die Kopplungsschicht 8 und die Magnetschicht
10 bilden zusammen einen "künstlichen Antiferromagneten",

1 der nach außen weitgehend magnetisch neutral ist, weil der
Magnetfluß im wesentlichen nur zwischen der Biasschicht 6
und der Magnetschicht 10 verläuft. Die Richtung der Mag-
netisierung \vec{M}_B der Biasschicht 6 ist dadurch auch bei
5 hohen äußeren Feldern sehr stabil.

Wird nun ein in FIG. 1 nicht dargestelltes Magnetfeld \vec{H} in
der Schichtebene angelegt, dann ändert sich die Magneti-
sierung \vec{M}_M in der Meßschicht 2 aus der Grundzustandsmagne-
tisierung \vec{M}_{M0} und die Magnetisierung \vec{M}_B der Biasschicht 6
10 bleibt im wesentlichen unverändert. Eine Komponente \vec{H}_V des
Magnetfeldes \vec{H} senkrecht zur Vorzugsachse A_M der Meß-
schicht 2 dreht die Magnetisierung \vec{M}_M der Meßschicht 2 in
Richtung zur Magnetisierung \vec{M}_B bzw. $-\vec{M}_B$, entsprechend der
15 Feldrichtung \vec{H} . In der Sättigung sind die beiden Magne-
tisierungen \vec{M}_M und \vec{M}_B dann parallel bzw. antiparallel
gerichtet. Dieser Drehprozeß erzeugt ein Giant-Magneto-
widerstandssignal in Abhängigkeit vom Drehwinkel. Eine
Komponente \vec{H}_p des Magnetfeldes \vec{H} parallel zur Vorzugsachse
20 A_M dagegen bewirkt eine Domänenwandverschiebung und somit
lediglich eine Richtungsumkehr der Magnetisierung \vec{M}_M an
den Domänenwänden. Ein Magnetowiderstandssignal wird
dadurch nicht erzeugt. Bei einem Magnetfeld senkrecht zur
Schichtebene finden wegen der hohen entmagnetisierenden
25 Felder in der Meßschicht 2 ebenfalls praktisch keine
Drehprozesse statt, und damit wird auch kein Magnetowider-
standssignal gemessen. Der Magnetowiderstands-Sensor ist
also im wesentlichen nur empfindlich für die Komponente \vec{H}_V
des Magnetfeldes \vec{H} , die orthogonal zur Vorzugsachse A_M in
30 dieser Ausführungsform bzw. allgemein zur Grundzustands-
magnetisierung \vec{M}_{M0} der Meßschicht 2 gerichtet ist.

Die Magnetisierung \vec{M}_B der Biasschicht 6 soll in dem Meß-

- 1 bereich des anliegenden Feldes H konstant bleiben und
insbesondere sich nicht in der Schichtebene drehen. Dazu
kann in einer Ausführungsform in die wenigstens eine Bias-
schicht eine magnetische, uniaxiale Anisotropie, insbeson-
5 dere eine Kristallanisotropie, eine feldinduzierte Aniso-
tropie oder eine spannungsinduzierte Anisotropie, einge-
prägt werden. Die Biasschicht wird dann entlang der Aniso-
tropieachse magnetisiert.
- 10 In einer Ausführungsform gemäß FIG. 2 ist ein "künst-
licher Antiferromagnet" mit einem symmetrischen Aufbau
vorgesehen. Die Magnetschicht 10 ist auf einer Seite
wieder über die Koppelungsschicht 8 an die Biasschicht 6
antiferromagnetisch angekoppelt. Auf der anderen Seite der
15 Magnetschicht 10 sind nun eine weitere Kopplungsschicht 8'
und darauf eine weitere Biasschicht 6' angeordnet. Die Bias-
schicht 6' und die Magnetschicht 10 sind ebenfalls antiferro-
magnetisch gekoppelt, sodaß die Magnetisierungen \vec{M}_B und $\vec{M}_{B'}$
der beiden Biasschichten 6 und 6' parallel zueinander und
20 beide antiparallel zur Magnetisierung \vec{M}_{AF} der Magnet-
schicht 10 gerichtet sind. Auf der Biasschicht 6 ist wieder
die Zwischenschicht 4 und auf dieser die Meßschicht 2 an-
geordnet. Auch an die Biasschicht 6' können sich eine wei-
tere Zwischenschicht und eine weitere Meßschicht anschließen.
- 25 In der dargestellten Ausführungsform ist die Magnetisierung \vec{M}_M
der Meßschicht 2 parallel zu den Magnetisierungen \vec{M}_B und
 $\vec{M}_{B'}$ der Biasschichten 6 und 6' gerichtet. In diese Lage
kann die Magnetisierung \vec{M}_M aus der zu \vec{M}_B orthogonalen
Grundzustandsmagnetisierung \vec{M}_{M0} durch ein Magnetfeld \vec{H}
30 gedreht worden sein oder auch in einer nicht dargestellten
Ausführungsform schon im Grundzustand eingestellt sein,
beispielsweise durch Einprägen einer entsprechenden Vor-
zugsachse.

1 Zur Widerstandsmessung sind, vorzugsweise auf der obersten
Schicht des Schichtsystems, zwei Meßkontakte in einem
Abstand zueinander angeordnet, der vorzugsweise wesentlich
größer als die Dicke des Schichtsystems ist (cip). In
5 einer anderen Ausführungsform sind die Meßkontakte auf der
Oberseite und der Unterseite des Schichtsystems angeordnet
(cpp). Ihr Abstand entspricht dann der Dicke des Schicht-
systems. Typische Dicken des gesamten Schichtsystems
liegen zwischen 3 nm und 400 nm und typische Abstände der
10 Meßkontakte in einem Bereich von 3 nm bis 1 mm. Zwischen
den beiden - in FIG. 2 nicht dargestellten - Meßkontakten
bildet sich in dem gesamten Schichtsystem ein elektri-
scher Strom von Leitungselektronen aus. Dieser Strom läßt
sich aus zwei nicht wechselwirkenden Teilströmen super-
15 ponieren, die sich aus Elektronen unterschiedlichen Spins
zusammensetzen. In den magnetisierten Schichten gibt es
nun einen Teilstrom von Majoritätselektronen, deren Spins
im Mittel parallel zur Magnetisierung der entsprechenden
Schicht gerichtet sind, und einen Teilstrom von Minori-
20 tätsträgern mit im Mittel antiparallel zur Magnetisierung
gerichteten Spins. In magnetischen Übergangsmetallen, die
vorzugsweise als Materialien für diese Schichten vorge-
sehen sind, sind die Streuquerschnitte der aus Fremdatomen
gebildeten Streuzentren für Elektronen mit unterschiedli-
25 chem Spin unterschiedlich groß. Solche Streuzentren be-
finden sich sowohl innerhalb der magnetischen Schichten
als auch an ihren Grenzflächen. Die Streuung der Elektro-
nen in den nicht-magnetischen Zwischenschichten und den
Kopplungsschichten ist dagegen spinunabhängig. Somit
30 weisen sowohl die magnetischen Schichten als auch die
Grenzflächen zu diesen Schichten für Majoritätselektronen
und Minoritätselektronen unterschiedliche spezifische
Widerstände RH_{OAJ} bzw. RH_{OMIN} auf. Das Verhältnis $ALPHA =$

- 1 RHOMIN/RHOMAJ des Widerstandes RHOMIN für die Minoritäts-
träger zum Widerstand RHOMAJ für die Majoritätsträger ist
abhängig vom Wirtsmaterial und den Defekten.
- 5 Um einen möglichst großen Unterschied zwischen minimalem
und maximalem Giant-Magnetowiderstandssignal zu erhalten,
werden nun die Materialien für die einzelnen Schichten so
gewählt, daß die Elektronen mit dem geringeren Widerstand
in der Meßschicht 2 bei parallel zueinander gerichteten
10 Magnetisierungen \bar{M}_M und \bar{M}_B der Meßschicht 2 und der Bias-
schicht 6 auch in allen anderen magnetischen Schichten und
an allen Grenzflächen zwischen den Schichten weniger ge-
streut werden. Das erreicht man, indem man die Parameter
ALPHA für die Schichten mit zur Meßschicht 2 paralleler
15 Magnetisierung und für ihre Grenzflächen alle größer oder
alle kleiner als eins wählt. Das bedeutet in der darge-
stellten Ausführungsform, daß die Parameter ALPHA für die
Meßschicht 2, ihre Grenzfläche zur Zwischenschicht 4, für
die Biasschicht 6 und ihre beiden Grenzflächen zur Zwi-
20 schenschicht 4 bzw. zur Kopplungsschicht 8 und für die
weitere Biasschicht 6' und ihre Grenzfläche zur Kopp-
lungsschicht 8' entweder alle größer oder alle kleiner als
eins eingestellt werden.
- 25 In der Magnetschicht 10 ist nun die Magnetisierung \bar{M}_{AF}
antiparallel zu den Magnetisierungen \bar{M}_M , \bar{M}_B und $\bar{M}_{B'}$ der
anderen magnetisierten Schichten gerichtet. Elektronen,
die in der Meßschicht 2 und den Biasschichten 6 und 6'
Majoritätsträger sind, werden in der Magnetschicht 10
30 daher zu Minoritätsträgern und umgekehrt. Deshalb werden
die Parameter ALPHA für die Magnetschicht 10 und ihre
beiden Grenzflächen zu den Koppelungsschichten 8 und 8'
größer als eins gewählt, wenn die ALPHAs der anderen

1 magnetisierten Schichten und ihrer Grenzflächen kleiner
als eins sind, und kleiner als eins, wenn die anderen
ALPHAs größer eins sind. Vorzugsweise werden die ALPHAs
der Meßschicht 2 und der Biasschichten 6 und 6' sowie
5 ihrer Grenzflächen größer als eins und der Magnetschicht
10 und ihrer Grenzflächen kleiner eins gewählt. Dann trägt
zum Strom zwischen den Meßkontakten hauptsächlich nur der
Teilstrom der Majoritätsträger bei, wenn die Magnetisierung
 \bar{M}_M parallel zu \bar{M}_B ist.

10 Dreht nun ein äußeres Magnetfeld \bar{H} die Magnetisierung \bar{M}_M
der Meßschicht 2 in eine zur Magnetisierung \bar{M}_B der Bias-
schicht 6 antiparallele Lage, so werden die bisherigen
Majoritätselektronen in der Meßschicht 2 zu Minoritäts-
15 elektronen in den Biasschichten 6 und somit in dem gesam-
ten Schichtssystem stark gestreut. Damit steigt das Giant-
Widerstandssignal auf seinen maximalen Wert.

20 In einer vorteilhaften Ausführungsform gemäß FIG. 3 sind
die Schichten als längliche Streifen ausgebildet, deren
Längsrichtung senkrecht zur Grundzustandsmagnetisierung
 \bar{M}_{M0} der Meßschicht 2 und damit auch parallel zur Magne-
tisierung \bar{M}_B der Biasschicht 6 verläuft. Durch diese Maß-
nahme werden die dem Meßfeld entgegengesetzt gerichteten
25 entmagnetisierenden Felder deutlich abgeschwächt und somit
die Empfindlichkeit des Sensors erhöht sowie eine Ver-
schiebung der Meßkennlinie vermieden. An den Enden 15 und
16 der Meßschicht 2 treten jedoch immer noch entmagne-
tisierende Felder auf, die eine Messung im Bereich dieser
30 Enden 15 und 16 verfälschen. Deshalb sind zwei zur Wider-
standsmessung vorgesehene Meßkontakte 11A und 11B in
Längsrichtung um einen Abstand a bzw. b nach innen ver-
setzt. Vorzugsweise sind beide Abstände a und b gleich

- 1 groß. Die Meßkontakte 11A und 11B sind vorzugsweise auf
der Meßschicht 2 angeordnet, können aber auch auf einer
Biasschicht oder einer Zwischenschicht angeordnet sein.
- 5 In einer nicht dargestellten Ausführungsform mit cpp-Meß-
kontakten können die Meßkontakte ebenfalls in einen inne-
ren Meßbereich verlegt sein.
- 10 Um den Magnetfluß der Biasschichten 6 über den Meßschich-
ten 2 weiter zu unterdrücken, sind in einer bevorzugten
Ausführungsform gemäß FIG. 4 zwei Randbereiche 21 und 25
vorgesehen, in denen keine Meßschicht 2 vorhanden ist, und
ein mittlerer Meßbereich 23 mit Meßschichten 2. Diese Ver-
kürzung der Meßschichten 2 wird wenigstens in Richtung pa-
15 rallel zur Magnetisierung M_B der Biasschicht 6 und vor-
zugsweise in allen Richtungen vorgenommen, so daß die
Biasschichten 6 ringsum über die Meßschichten hinausragen.
Die Zwischenschichten 4 sind vorzugsweise so lang wie die
Biasschichten 6. Der "künstliche Antiferromagnet" besteht
20 in der dargestellten Ausführungsform aus zwei Biasschich-
ten 6 und 6' und einer mittleren Magnetschicht 10 mit ei-
ner Magnetisierung M_{AF} , die über jeweils eine Kopplungs-
schicht 8 oder 8' mit den Biasschichten 6 bzw. 6' anti-
ferromagnetisch gekoppelt ist. Auf jeder Biasschicht 6 und
25 6' ist im Meßbereich 23 eine Zwischenschicht 4 und darauf
eine Meßschicht 2 angeordnet. Es können natürlich auch
wieder mehrere Subsysteme gemäß den in FIG. 1 oder 2 dar-
gestellten Ausführungsformen vorgesehen sein. Die Magneti-
sierungen M_M der Meßschichten 2 sind, vorzugsweise durch
30 ein nicht dargestelltes äußeres Sättigungsmagnetfeld, pa-
rallel zu den Magnetisierungen M_B gerichtet.

Zwischen den Randbereichen 21 und 25 und dem Meßbereich 23

20

1 ist jeweils ein Übergangsbereich 22 bzw. 24 vorgesehen, in
dem die Dicke der Meßschichten 2 von außen nach innen
kontinuierlich zunimmt. Während die Biasschichten 6 und
die Zwischenschichten 4 in den Übergangsbereichen 22
5 und 24 wenigstens annähernd genauso dick sind wie in den
Randbereichen 21 und 25 sowie im Meßbereich 23, nehmen die
Dicken d der Meßschichten 2 in den Übergangsbereichen 22
und 24 unter einem bestimmten Öffnungswinkel von $d=0$ in
den Randbereichen 21 und 25 bis zu einem konstanten Wert
10 $d=d_M$ im Meßbereich 23 linear zu.

In einer nicht dargestellten Ausführungsform können zwischens
den Randbereichen 21 und 25 und dem Meßbereich 23
jeweils eine Stufe sein, deren Höhen der Gesamtdicke der
15 in den Randbereichen 21 und 25 fehlenden Meßschichten 2
entspricht.

In einer Ausführungsform gemäß FIG. 5 ist wenigstens eine
Meßschicht 6 durch zwei Meßschichten 2' und 2" ersetzt.
20 Die Grundzustandsmagnetisierungen M_{MO}' und M_{MO}'' dieser
beiden Meßschichten 2' und 2" sind nun, vorzugsweise durch
Einprägen entsprechender Vorzugsachsen, antiparallel zu-
einander gerichtet und vorzugsweise gleich groß, d.h.
 $M_{MO}' = -M_{MO}''$. Damit bleibt der Magnetfluß der Meßschichten
25 2' und 2" im wesentlichen auf die Meßschichten 2' und 2"
selbst beschränkt und greift nicht auf die benachbarten
Biasschichten 6 über. Die Biasschichten 6 sind jeweils mit
gleichgerichteten Magnetisierungen M_B versehen, die zu-
zumindest annähernd senkrecht zu den Grundzustandsmagne-
30 tisierungen M_{MO}' und M_{MO}'' der Meßschichten 2' bzw. 2" ge-
richtet sind.

Wegen Schwankungen in den Richtungen der Vorzugsachsen und

1 einem daraus resultierenden nicht eindeutigen Drehsinn
für die Magnetisierungen \vec{M}_M' und \vec{M}_M'' aus den Grundzu-
standsmagnetisierungen \vec{M}_{M0}' bzw. \vec{M}_{M0}'' bilden sich im
allgemeinen nach Sättigung in den Meßschichten 2' und 2"
5 bei kleineren Feldwerten Domänen. In einer besonderen,
nicht dargestellten Ausführungsform sind die Grundzu-
standsmagnetisierungen \vec{M}_{M0}' und \vec{M}_{M0}'' der beiden Meß-
schichten 2' bzw. 2" zur Vermeidung dieser Domänenbildung
jeweils um einen kleinen Winkel gegen die Normalenrichtung
10 zur Magnetisierung \vec{M}_B der Biasschichten 6 in unterschied-
lichem Drehsinn eingestellt, so daß sie einen Winkel von
etwas weniger als 180° miteinander einschließen. Dies kann
durch Einprägen entsprechend zueinander geneigter Vorzugs-
achsen in die entsprechenden Meßschichten 2' und 2" er-
15 reicht werden. Dadurch ist für jede der beiden Magnetisie-
rungen \vec{M}_M' und \vec{M}_M'' bei Anliegen eines Magnetfeldes \vec{H} ein
eindeutiger Drehsinn aus der Sättigung vorgegeben.

20 Als magnetische Materialien für die Meßschichten können
beispielsweise Co, Fe, Ni, SmCo oder auch TbFeCo und für
die Biasschichten $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ oder auch $\text{Ni}_{66}\text{CoFe}$ vorgesehen
sein. Die Zwischenschichten bestehen vorzugsweise aus Cu,
Au, Ag oder Cr.

25

30

1 Patentansprüche

1. Magnetowiderstands-Sensor mit

a) einem Schichtsystem mit folgenden Merkmalen:

5 a1) Es ist wenigstens eine Meßschicht (2) vorgesehen mit einer wenigstens in einer Richtung reversibel von einem anliegenden Magnetfeld (\vec{H}) abhängenden Magnetisierung (\vec{M}_M) in der Schichtebene, wobei diese Magnetisierung (\vec{M}_M) bei fehlendem Magnetfeld (\vec{H}) einer vorgegebenen Grundzustandsmagnetisierung (\vec{M}_{MO}) entspricht;

10 a2) auf wenigstens einer Seite der Meßschicht (2) ist eine Biasschicht (6) mit einer im Meßbereich des Magnetfeldes (\vec{H}) wenigstens annähernd konstanten Magnetisierung (\vec{M}_B) in der Schichtebene vorgesehen, die von der Meßschicht (2) durch eine Zwischenschicht (4) wenigstens annähernd magnetisch austauschentkoppelt ist;

15 a3) an wenigstens eine Biasschicht (6) ist über eine Kopplungsschicht (8) eine Magnetschicht (10) antiferromagnetisch angekoppelt;

20 und

d) Meßkontakten (11A und 11B) an dem Schichtsystem zum Erfassen eines Widerstandssignals, das ein Maß für das anliegende Magnetfeld (\vec{H}) ist.

25

2. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an die Magnetschicht (10) an ihrer von der einen Biasschicht (6) abgewandten Seite eine weitere Biasschicht (6') über eine weitere Kopplungsschicht (8') antiferromagnetisch angekoppelt ist.

30

3. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 1 oder 2,

1 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a ß f ü r
jede Biasschicht (6, 6') ein Material mit einer von der
Magnetschicht (10) verschiedenen Curietemperatur vorge-
sehen ist.

5 4. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der Ansprüche 1
bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß für jede Biasschicht (6, 6') ein Material mit einer
von der Magnetschicht (10) verschiedenen Koerzitivfeld-
10 stärke vorgesehen ist.

15 5. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß jede Biasschicht (6, 6') entlang einer Vorzugsachse
magnetisiert ist.

20 6. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Grundzustandsmagnetisierung (\vec{M}_{M0}) der Meßschicht
(2) und die Magnetisierung (\vec{M}_B) der Biasschicht (6)
wenigstens annähernd senkrecht zueinander gerichtet sind.

25 7. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der Ansprüche 1
bis 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Grundzustandsmagnetisierung (\vec{M}_{M0}) der Meßschicht
(2) und die Magnetisierung (\vec{M}_B) der Biasschicht (6) paral-
lel zueinander gerichtet sind.

30 8. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Materialien für die Schichten derart gewählt sind,
daß bei einer parallelen Ausrichtung der Magnetisierungen
(\vec{M}_M und \vec{M}_B) der Meßschicht (2) und der Biasschicht (6) der

24

1 in der Meßschicht (2) am wenigsten gestreute Elektronentyp
in mit dem einen Spinzustand auch in allen anderen magne-
tischen Schichten und an deren Grenzflächen weniger ge-
streut wird als der Elektronentyp mit dem anderen Spizu-
5 stand.

9. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß die Magnetisierung (\bar{M}_B) der Biasschicht (6) betrags-
mäßig kleiner gewählt ist als die Grundzustandsmagne-
10 tisierung (M_{MO}) der Meßschicht (2).

10. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-
den Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h -
n e t , daß die Meßschicht (2) und die Biasschicht (6)
in einer Längsrichtung senkrecht zur Grundzustandsmagne-
tisierung (M_{MO}) der Meßschicht (2) bevorzugt ausgedehnt
15 sind.

20 11. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-
den Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h -
n e t , daß die Meßschicht (2) wenigstens in einer Rich-
tung parallel zur Magnetisierung (M_B) der Biasschicht (6)
kürzer ausgebildet ist als die Biasschicht (6).

25 12. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 11, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die Dicke
der Meßschicht (2) in Übergangsbereichen (22 und 24) zwi-
schen Randbereichen (21 bzw. 25) des Schichtsystems ohne
30 die Meßschicht (2) und einem inneren Meßbereich (23) mit
der Meßschicht (2) kontinuierlich zunimmt.

13. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-

- 1 den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -
n e t , daß die Meßkontakte (11A und 11B) vom Rand des
Schichtsystems beabstandet angeordnet sind.
- 5 14. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -
z e t , daß die Meßkontakte auf der obersten und/oder
der untersten Schicht des Schichtsystems angeordnet sind.
- 10 15. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -
n e t , daß wenigstens eine Meßschicht (2) durch zwei
Meßschichten (2' und 2'') ersetzt ist, die durch eine Zwi-
schenschicht (4) austauschentkoppelt sind.
- 15 16. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 15, da -
durch gekennzeichnet, daß die
Grundzustandsmagnetisierungen (M_{M0}' und M_{M0}'') der beiden
Meßschichten (2' und 2'') wenigstens annähernd antiparallel
20 zueinander gerichtet sind, wenn kein Magnetfeld (H) an-
liegt.
- 25 17. Magnetowiderstands-Sensor nach Anspruch 16, da -
durch gekennzeichnet, daß die Grund-
zustandsmagnetisierungen (M_M' und M_M'') der beiden Meß-
schichten (2' und 2'') um jeweils wenigstens annähernd den
gleichen Winkel gegen die Normalenrichtung zur Magnetisie-
rung (M_B) der Biasschicht (6) geneigt sind und einen Win-
kel von weniger als 180° miteinander einschließen.
- 30 18. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehen-
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet -
n e t , daß jede Meßschicht (2' und 2'') in Richtung ei-

1 ner Vorzugsachse magnetisiert ist, wenn kein Magnetfeld H anliegt.

5 19. Magnetowiderstands-Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede Magnetschicht (10) entlang einer Vorzugsachse magnetisiert ist.

10 20. Verfahren zur Herstellung eines Magnetowiderstands-Sensors nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit folgenden Merkmalen:

- 15 a) Für die Biasschicht (6) und die Magnetschicht (10) werden magnetische Materialien mit unterschiedlicher Curie-Temperatur T_{c1} und T_{c2} und wenigstens annähernd gleicher Magnetisierung bei einer Einsatztemperatur gewählt;
- 20 b) die durch die Kopplungsschicht (8) miteinander verbundenen Biasschicht (6) und Magnetschicht (10) werden auf eine von der Einsatztemperatur verschiedene Einprägetemperatur (T_E) gebracht und in einem temperaturabhängigen Biasmagnetfeld (H_B) angeordnet, das wenigstens bei dieser Einprägetemperatur (T_E) einen vorbestimmten Wert hat;
- 25 c) anschließend werden die Schichten auf die Einsatztemperatur gebracht.

21. Verfahren zur Herstellung eines Magnetowiderstands-Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 19 mit folgenden Merkmalen:

- 30 a) Für die Biasschicht (6) und die Magnetschicht (10) werden magnetische Materialien mit unterschiedlichen Koerzitivfeldstärken ausgewählt;
- b) die durch die Kopplungsschicht (8) miteinander verbundenen

27

1 dene Biasschicht (6) und Magnetschicht (10) werden in
einem Sättigungsmagnetfeld gesättigt..

5

10

15

20

25

30

1/3

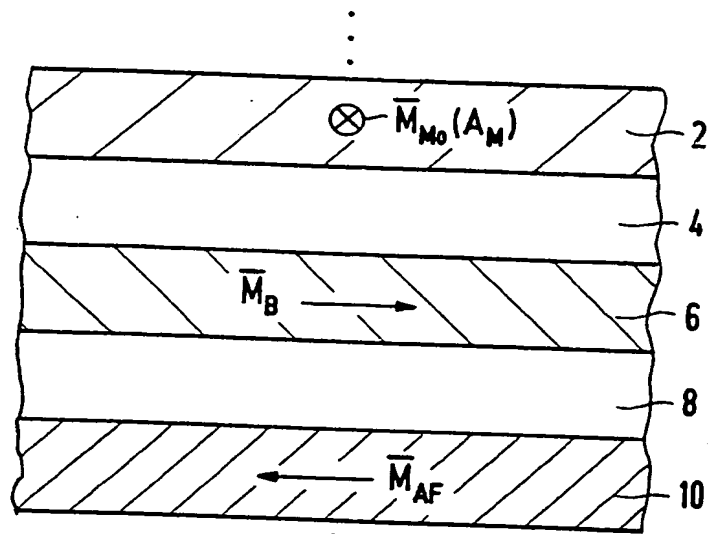


FIG 1

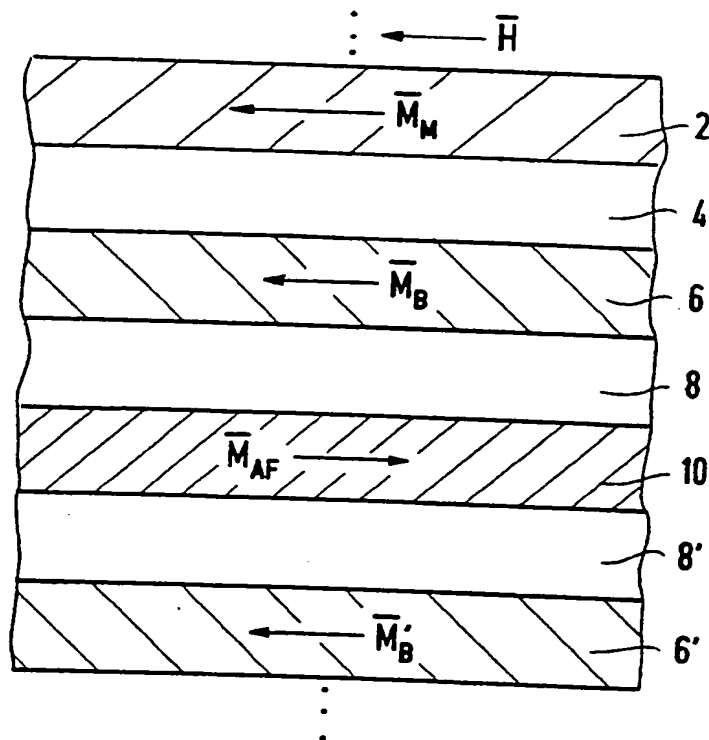


FIG 2

2/3

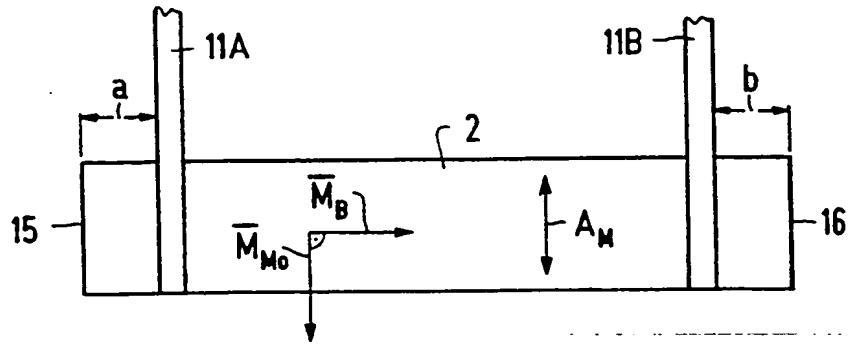


FIG 3

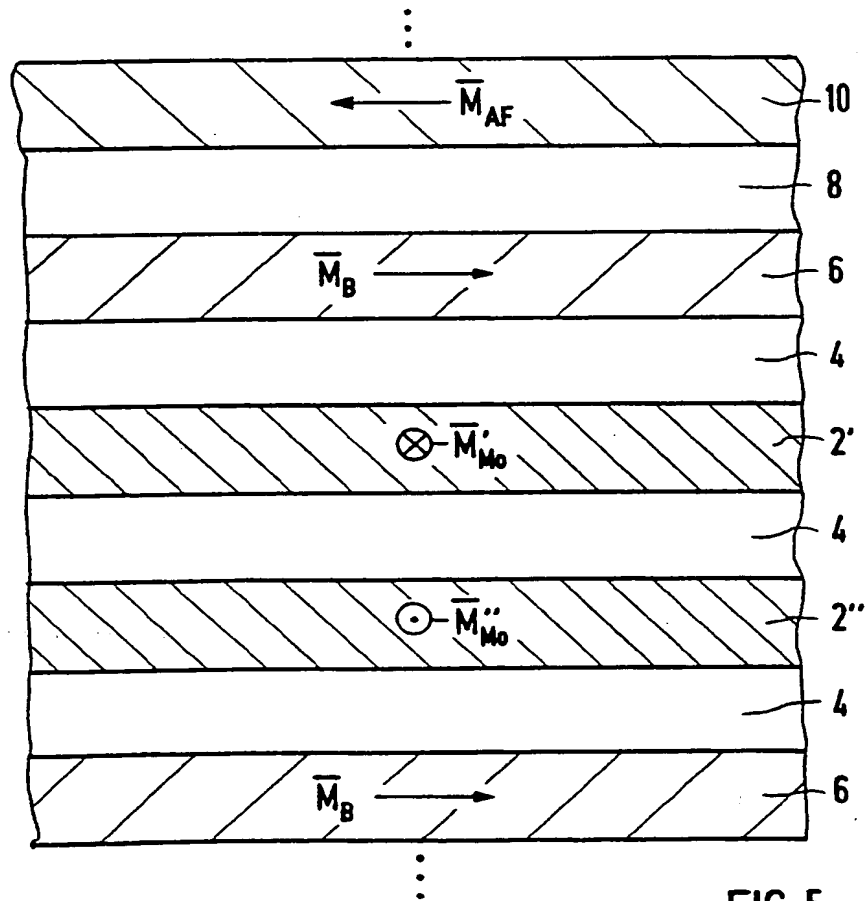


FIG 5

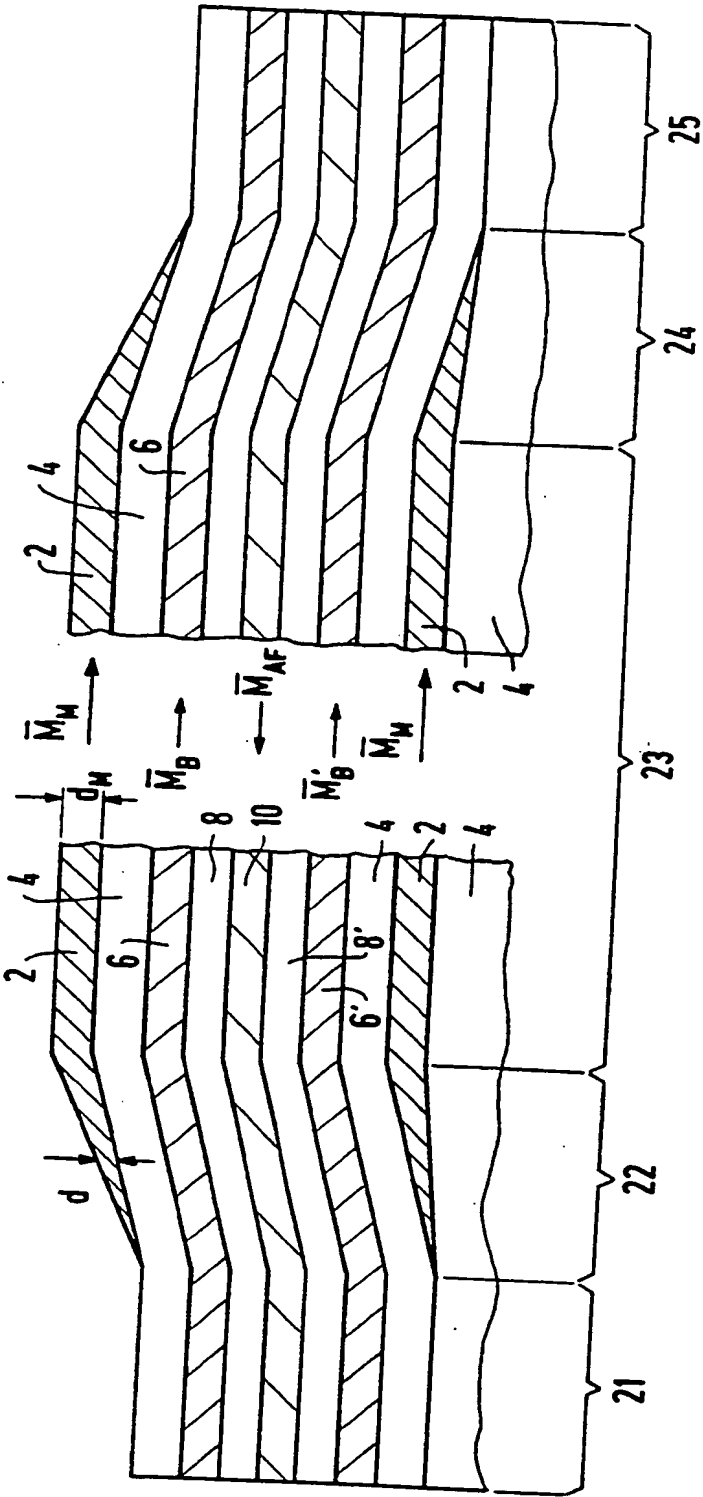


FIG 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. No.

PCT/DE 93/01204

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 5 G01R33/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 5 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP,A,0 346 817 (KERNFORSCHUNSANLAGE JÜLICH) 20 December 1989 see column 4, line 4 - line 39	1,3-5, 15,16, 18,19
Y	---	2,6,7, 10,11
Y	EP,A,0 432 890 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 19 June 1991 see column 3, line 9 - column 5, line 9 ---	2,6,7, 10,11
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- * "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- * "E" earlier document but published on or after the international filing date
- * "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- * "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- * "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

* "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

* "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

* "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

* "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 April 1994

Date of mailing of the international search report

22.04.94

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Swartjes, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Appl. Application No

PCT/DE 93/01204

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, vol.44, no.10, September 1991, NEW YORK US pages 5358 - 5361 SPERIOSU ET AL. 'Nonoscillatory magnetoresistance in Co/Cu/Co layered structures with oscillatory coupling' see page 5358, column 1, line 37 - column 2, line 1	1
A	EP,A,0 498 668 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 12 August 1992 see page 3, line 1 - line 36	1,4,6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Intern. Appl. No.

PCT/DE 93/01204

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0346817	20-12-89	DE-C- 3820475 JP-A- 2061572 US-A- 4949039	21-12-89 01-03-90 14-08-90
EP-A-0432890	19-06-91	US-A- 5014147 JP-A- 3144909	07-05-91 20-06-91
EP-A-0498668	12-08-92	US-A- 5159513	27-10-92

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. nales Aktenzeichen
PCT/DE 93/01204

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 5 G01R33/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbol)
IPK 5 G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP,A,0 346 817 (KERNFORSCHUNSANLAGE JÜLICH) 20. Dezember 1989	1,3-5, 15,16, 18,19
Y	siehe Spalte 4, Zeile 4 - Zeile 39	2,6,7, 10,11
Y	EP,A,0 432 890 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 19. Juni 1991 siehe Spalte 3, Zeile 9 - Spalte 5, Zeile 9	2,6,7, 10,11
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

* "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

* "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

* "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

* "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

* "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

* "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

* "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

* "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

* "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. April 1994

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22.04.94

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Swartjes, H

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, Bd.44, Nr.10, September 1991, NEW YORK US Seiten 5358 - 5361 SPERIOSU ET AL. 'Nonoscillatory magnetoresistance in Co/Cu/Co layered structures with oscillatory coupling' siehe Seite 5358, Spalte 1, Zeile 37 - Spalte 2, Zeile 1 ---	1
A	EP,A,0 498 668 (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 12. August 1992 siehe Seite 3, Zeile 1 - Zeile 36 -----	1,4,6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter. Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/01204

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0346817	20-12-89	DE-C- 3820475	21-12-89
		JP-A- 2061572	01-03-90
		US-A- 4949039	14-08-90
EP-A-0432890	19-06-91	US-A- 5014147	07-05-91
		JP-A- 3144909	20-06-91
EP-A-0498668	12-08-92	US-A- 5159513	27-10-92